

Anaesthesist 2014 · 63:422–428
DOI 10.1007/s00101-014-2312-0
Online publiziert: 10. April 2014
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Redaktion

B.M. Graf, Regensburg
P. Kessler, Frankfurt

M. Neuberger¹ · U. Schwemmer² · T. Volk³ · W. Gogarten⁴ · P. Kessler⁵ · T. Steinfeldt⁶

¹ Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin, Ortenau Klinikum Achern

² Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Kliniken des Landkreises Neumarkt i.d.OPf.

³ Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie,
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg

⁴ Klinik für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie,
Klinikum Bielefeld

⁵ Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Schmerzmedizin, Orthopädische Universitätsklinik
Friedrichsheim, Frankfurt a. M.

⁶ Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie, UKGM Gießen-Marburg, Standort Marburg

Lokalisation peripherer Nerven

Erfolg und Sicherheit mit elektrischer Nervenstimulation

Für die periphere elektrische Nervenstimulation als alleiniges Verfahren zur Nervenlokalisierung werden hohe Erfolgsraten beschrieben; die Komplikationsraten – speziell das Risiko von Nervenschäden – sind bei korrekter Anwendung gering. Bei der Nutzung dieser Technik sind jedoch einige Besonderheiten zu beachten.

Periphere elektrische Nervenstimulation

Die periphere elektrische Nervenstimulation führt über die Applikation eines Gleichstroms durch die üblicherweise negativ geladene Nadelspitze (Kathode) zur Depolarisation und zur Auslösung eines Aktionspotenzials. Es kommt zu einer typischen Reizantwort, bei motorischen Fasern zu einer spezifischen Muskelzuckung und bei sensiblen Fasern zu einer Empfindung (z. B. Kribbeln, Schmerz). Der Strom wird dabei als monophasischer Rechteckimpuls abgegeben. Grundlage ist das Ohm-Gesetz: Spannung (U), Stromstärke (I) und Widerstand (R) stehen im direkten Verhältnis: $U=R \cdot I$. Regelmäßig wird dabei der Strom durch den Anwender vorgegeben und die Spannung konstant gehalten.

Schwellenstrom

Es liegt nahe zu vermuten, dass die Nähe der Stimulationsnadel zum Nerv und die Stimulationsstromstärke miteinander korrelieren [10, 16, 20]. Tatsächlich konnten Studien zeigen, dass Reizantworten bei geringen Stromstärken mit höheren Erfolgsraten und kürzeren Anschlagszeiten verbunden waren [19]. Aber bereits Perthes [34] vermutete, dass eine zu enge Nachbarschaft zwischen Nadel und Nerv mit einer höheren Rate an Nervenschäden verbunden sein könnte [34]. Somit gilt es, eine bestimmte Nähe der Nadel zum Nerv nicht zu unterschreiten [20] – was hypothetisch durch Vermeiden von Reizantworten bei sehr geringen Strömen erreichbar ist. Entsprechend wurden lange Jahre sogenannte Schwellenströme definiert, mit denen einerseits sichere, andererseits auch erfolgreiche Blockaden durchführbar sein sollten: „So nah wie nötig, so weit weg wie möglich“. Es wurde versucht, Nadel-Nerv-Abstände in Korrelation zu Stromstärken zu setzen [20, 30, 35, 44]. Über viele Jahre wurden Reizantworten bei Stromstärken zwischen 0,3 mA/0,1 ms und 0,5 mA/0,1 ms beim Patienten ohne Nervenerkrankung

als sicher und erfolgreich angesehen [3, 19]. Bei höheren Stromstärken sollte der Blockadeerfolg geringer sein; bei geringeren Strömen sollte das Risiko für Nervenschäden steigen [20].

Welche untere Stromstärke als „sicher“ zu gelten hat, ist jedoch nicht geklärt. Aufgrund der Unabwägbarkeiten bei Anwendung von Strom im menschlichen Körper wird eine exakte Angabe auch nie möglich sein. Es gibt aber Hinweise, dass bereits ein kritischer Reizstrom unter 0,5 mA bei einer Impulsbreite von 0,1 ms beim Nervengesunden gehäuft mit einer intraneuralen Kanülenlage einhergeht [2, 35–37, 42, 43, 46]. Daher sollte – unter Beachtung weiterer klinischer Informationen wie Schmerz, Parästhesie, Impedanz, Injektionsdruck [2, 27] – diese Grenze ausgetestet und nicht unterschritten werden.

Gute Blockadeerfolge scheinen auch bei höheren („sichereren“) Stromstärken z. T. von 0,8–1,0 mA/0,1 ms erreichbar [2, 12, 35, 53]. Im Tierversuch konnte gezeigt werden, dass bei Stromstärken von 1 mA/0,1 ms eine Umspülung des Nerven mit Testflüssigkeit möglich ist [43].

Nicht erst seit der Visualisierung der Nadelspitze und des Nerven durch ultra-

schallgesteuerte Blockaden ist bekannt, dass gelegentlich trotz enger Nähe von Nadelspitze und Nerv keine Reizantwort zu erhalten ist, dass Parästhesien ohne vorherige Reizantwort auftreten bzw. dass auch ein großer Nadel-Nerv-Abstand eine Reizantwort generieren kann [5, 7, 28, 33, 51]. Vermeintlich unproblematische Stromstärken waren teilweise mit einer intraneuralen Kanülenlage verbunden [27, 42]. Der Grund: Der Strom nimmt den Weg des geringsten Widerstands und kann somit im perinervalen Gewebe abfließen, ohne zum Aktionspotenzial zu führen.

Um die Wirkung des Stroms berechenbar zu halten, benötigt man gleichförmige Bedingungen. Da im Körper je nach Gewebe unterschiedliche elektrische Widerstände herrschen, unterliegt der Strom aber Schwankungen. Dies führt dazu, dass bei ähnlichem Abstand der Nadel zum Nerv unterschiedliche Stromstärken benötigt werden, um eine Reizantwort auszulösen [38]. Weiterhin ist ein konstantes Milieu notwendig; bereits eine wiederholte Passage der Nadel durch das Gewebe kann durch Gewebsflüssigkeit und Blut dazu führen, dass sich das Stromfeld verändert und eine Reizantwort nicht mehr auslösbar ist [21].

Die Depolarisation durch die Nadelspitze am Nerv führt nicht nur dazu, dass ein Aktionspotenzial generiert wird, sondern es kann durch Ladungsverschiebungen an der Nervenzellmembran auch zur Hyperpolarisation benachbarter Zellmembranareale kommen. Diese Hyperpolarisation kann bewirken, dass das Ruhepotenzial des Nervs so negativ wird, dass das entstandene Aktionspotenzial nicht weitergeleitet werden kann; die Nervenstimulation blockiert sich selbst (Konduktions- oder Propagationsblock, [16]). Derartige Phänomene könnten gehäuft bei klinisch bedeutsamen Stromstärken (0,3–1,0 mA) dann aufzutreten, wenn die Nadel die Kathode ist (gebräuchliche Form der Nervenstimulation, [25]). Welche klinische Relevanz der Propagationsblock hat, ist nicht untersucht.

Letztendlich erklärt sich durch das oben Genannte das Phänomen, dass immer wieder trotz mit Ultraschall visualisierter eindeutiger Nähe der Nadel zum Nerv keine Reizantwort erhalten wird [33].

Der wechselnde elektrische Widerstand des Gewebes kann klinisch auch genutzt werden. Das Perineurium scheint einen hohen Widerstand zu bieten. Die Injektion von nichtleitenden Flüssigkeiten erhöht ebenfalls den Widerstand. So kann es möglich sein, durch eine schlagartige Erhöhung des Widerstands eine intraneurale Kanülenlage zu erkennen (Impedanzsprung, [49]). Gleichfalls kann durch einen fehlenden Impedanzsprung nach Injektion von 5%iger Glucoselösung eine intravasale Kanülenlage vermutet werden [6, 48, 49].

In diesem Zusammenhang soll erwähnt sein, dass die Position, an der die Klebelektrode (Anode) angebracht wird, prinzipiell bezüglich des zu erwartenden Widerstands für die Gerätefunktion unerheblich ist: Der Hauptwiderstand für den Nervenstimulator entsteht am Übergang von der Haut zur Elektrode und nicht durch den Weg des Stroms im Körper [14].

Impulsdauer

Je länger ein Strom auf einen Nerv abgegeben wird, desto geringer muss er sein, um ein Aktionspotenzial zu generieren. Allerdings gibt es auch eine minimale Stromstärke (Rheobase), die selbst bei langer Applikation nicht in einem Aktionspotenzial resultiert. Die verschiedenen Nerven haben unterschiedliche Rheobasewerte, die letztendlich eine differente Stimulierbarkeit der Nerven bedingen (Chronaxie: Zeit, die ein Strom doppelter Rheobasestärke braucht, um ein Aktionspotenzial auszulösen; **Abb. 1**). Motorische Fasern (wesentlich A-Fasern) sind sehr leicht zu stimulieren, Schmerzfasern eher schwieriger (u. a. C-Fasern, [26]).

In der klinischen Anwendung gebräuchlich sind Impulsbreiten von 0,1–1,0 ms. Durch die Wahl eines kurzen Stromimpulses (Abgabedauer genannt „Impulsbreite“) können überwiegend die motorischen Nervenfasern gereizt werden. Dieses bedingt einen erheblichen Komfort für den Patienten, der nun nur impuls-synchrone Muskelzuckungen erlebt und nicht etwa zusätzlich impuls-synchrone Schmerzen [21, 22].

Anders verhält es sich bei einer Stimulation von rein sensiblen Nerven (z. B.: N. cutaneus femoris lateralis, N. sapher-

Anaesthetist 2014 · 63:422–428
DOI 10.1007/s00101-014-2312-0
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

M. Neuburger · U. Schwemmer · T. Volk ·
W. Gogarten · P. Kessler · T. Steinfeldt
**Lokalisation peripherer
Nerven. Erfolg und
Sicherheit mit elektrischer
Nervenstimulation**

Zusammenfassung

Die periphere elektrische Nervenstimulation ist neben der Ultraschalltechnik das Standardverfahren zur Durchführung der Blockade peripherer Nerven. In den letzten Jahren sind u. a. durch die Visualisierung von Nadel und Nerv mit Ultraschall während der Blockade klinisch bedeutsame neue Erkenntnisse über die elektrische Nervenstimulation in den Vordergrund gerückt. Im vorliegenden Beitrag werden die alten und neuen Erkenntnisse in den Grundlagen sowie der Anwendung der Nervenstimulationstechnik dargestellt und in einen klinischen Gesamtkontext gebracht, um sichere und erfolgreiche periphere Blockaden mit der elektrischen Nervenstimulation durchzuführen.

Schlüsselwörter

Nervenblockade · Regionalanästhesie ·
Reizstrom · Reizschwelle · Nadeln

Localization of peripheral nerves. Success and safety with electrical nerve stimulation

Abstract

Peripheral electrical nerve stimulation is one of the standard applications in peripheral regional anesthesia in addition to the ultrasound technique. Among other findings, the visualization of needle and nerve during ultrasound-guided blockade caused a change in clinical practice of peripheral nerve stimulation in the last decade. In the present article old and new aspects of principles and clinical practice of the nerve stimulation technique are presented and summarized in a total clinical concept in order to achieve safe and successful peripheral regional anesthesia using electrical peripheral nerve stimulation.

Keywords

Nerve block · Regional anesthesia · Current · Threshold · Needles

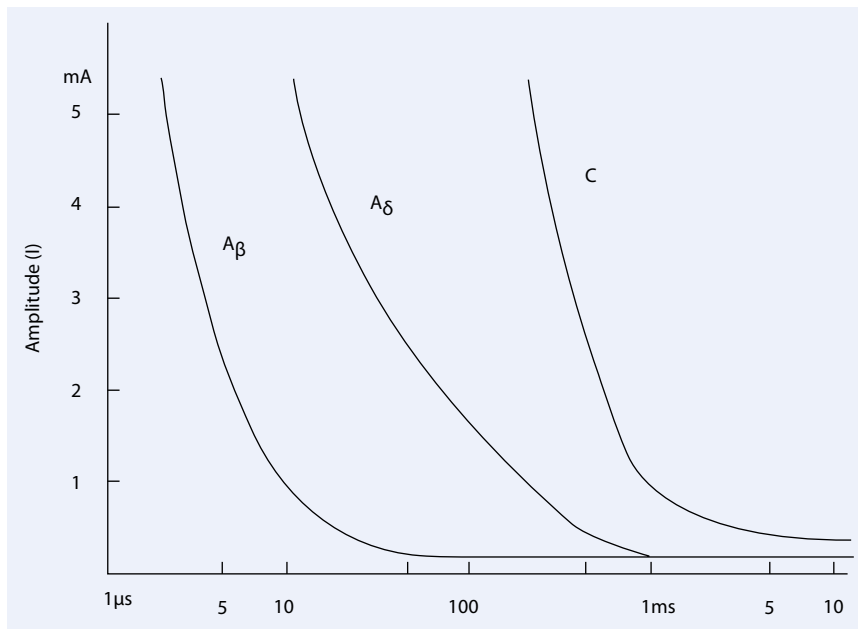


Abb. 1 ▲ Beziehung zwischen Nutzzeit (Applikationsdauer; Abszisse) und Stromstärke (Ordinate) zur Depolarisation zur Auslösung eines Aktionspotenzials verschiedener Nerven. C-Fasern (Schmerz) benötigen höhere Ströme und längere Applikationszeiten. Unterhalb einer minimalen Stromstärke (Rheobase) findet auch bei langer Applikationsdauer keine Depolarisation mehr statt. (Adaptiert nach [26])

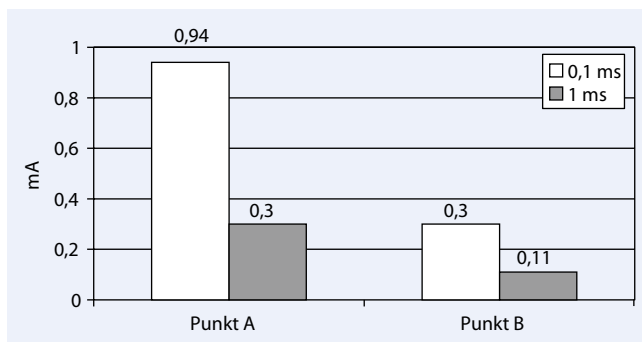


Abb. 2 ▲ Beziehung verschiedener Stromstärken (mA) in Abhängigkeit von der Impulsbreite (bei jeweils fixierter Nadel) an verschiedenen Punkten. Die Punkte A und B haben eine klinisch relevante Distanz von 5,5 mm. (Nach [30]). Die alleinige Angabe der Stromstärke (hier z. B. 0,3 mA) ohne Angabe der Impulsbreite kann somit irreführend sein

nus): Diese sind nur mit längeren Applikationszeiten (breiteren Impulsen) oder höheren Strömen sicher zu lokalisieren, da bei kurzen Impulsen oder geringen Stromstärken kein Aktionspotenzial generiert wird [21, 26]. Da die Reizantwort impuls-synchrone elektrische Parästhesien sind, benötigt man den kooperativen Patienten, der die Empfindung berichtet.

Die Kenntnis der benutzten Impulsbreite ist wichtig: Bei identischer Nadelposition zur Auslösung identischer Reizantworten muss ein Strom mit kurzer Impulsbreite (0,1 ms) ca. 3-fach höher sein

als ein Strom mit langer Impulsbreite (1,0 ms; [18, 30]; ■ **Abb. 2**).

Durch den intermittierenden Wechsel der Impulsbreite (durch den programmierten Nervenstimulator) bei der Stimulation kann ohne Veränderung der Stromstärke die Wahrscheinlichkeit der Reizantwort vergrößert werden. Somit soll gerade bei tieferen Lokalisationen der Nerv besser detektiert werden können (sequenzielle elektrische Nervenstimulation, SENS, [52]).

Es liegt nahe, dass die Elektrophysiologie beim kranken Nerv derart verändert ist, dass die klinischen Parameter

für die Nervenstimulation zur erfolgreichen und sicheren Blockade angepasst werden müssten [39]. Es gibt kaum Daten, die klare Hinweise geben; lediglich die Tatsache, dass auch höhere Reizströme zu erfolgreichen Blockaden beim Patienten mit Polyneuropathie führen, kann als Hinweis darauf gelten, dass die Nerven schlechter stimulierbar sind [2, 35, 41, 45]. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die beim Nervengesunden angestrebten Ströme für den Patienten mit Polyneuropathie bereits gefährlich sein könnten, da die Nadelspitze zu nahe am Nerv wäre. In Abhängigkeit von evtl. vorliegenden Vorerkrankungen des Patienten (Diabetes mellitus, Niereninsuffizienz, bekannte Polyneuropathie) bietet es sich an, generell mit längerem Impuls (1 ms) zu stimulieren (s. unten) oder die untere Stromgrenze auf >1 mA/0,1 ms anzuheben. Es gibt hierzu keine wissenschaftlich verwertbaren Informationen, sodass es wichtig erscheint, den klinischen Gesamtkontext zu beachten.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass eine kritische Stromstärke von 0,5 mA/0,1 ms beim Nervengesunden für eine sichere und zuverlässige Blockade ausgetestet und nicht unterschritten werden sollte. Beim Patienten mit Nervenstörungen sind deutlich höhere untere Grenzwerte notwendig. Diese Grenzwerte bedingen nach allgemeiner Erfahrung klinisch akzeptable Blockadeerfolge, Anschlagszeiten und Komplikationsraten.

Nervenstimulation als alleiniges Verfahren zur Nervenlokalisierung

Mit der Nervenstimulation sind Erfolgsraten von über 95% beschrieben [11, 19, 22, 40]; die Komplikationsraten – speziell das Risiko von Nervenschäden – sind bei korrekter Anwendung gering [1, 4]. Bei der Nutzung dieser Technik sind jedoch einige Besonderheiten zu beachten, die in der Folge dargestellt werden sollen [32].

Das Auftreten von schmerzhaften Parästhesien bzw. ausstrahlenden Schmerzen bei der Blockade/Injektion stellt einen gesicherten Risikofaktor für das Auftreten von Nervenschäden dar [29]. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die Blockade bzw. die Injektion unabhängig von dem

Hier steht eine Anzeige.





Abb. 3 ◀ Anforderung an einen modernen Stimulator: Durch den hohen Widerstand an der Haut wird der eingestellte Strom (1,0 mA) nicht generiert; der Stimulator gibt Alarm. Die Anzeige ist eindeutig und zeigt den fließenden Strom an (0,57 mA)

Ergebnis der Nervenstimulation zu unterbrechen und zu korrigieren ist, wenn der Patient darüber klagt.

Der Nervenstimulator muss modernen Anforderungen gerecht werden. Viele der älteren und heute noch verwendeten Stimulatoren liefern nicht den eingestellten Strom. Alarmfunktionen stehen nicht zur Verfügung, und die Impulsbreite der Geräte ist nicht bekannt [13, 15, 17, 18].

Die korrekte Reizantwort ist für den Blockadeerfolg elementar: Für die meisten Blockaden sind anzustrebende Muskelreaktionen beschrieben [3, 40]. Durch eine unerwünschte Reizantwort kann oft die korrekte Lage der Zielstruktur antizipiert werden (z. B. impulsynchroner Singultus bei der interskalenären Blockade: Nadel etwas lateraler und leicht tiefer).

Moderne Nervenstimulatoren geben Auskunft über die wesentlichen Parameter und haben teilweise Alarmer für diese hinterlegt (▣ **Abb. 3**). Durch die Wechselwirkungen des Ohm-Gesetzes ergibt sich z. B. bei sehr großen Widerständen an der Haut (beispielsweise durch trockene oder schlecht sitzende Klebeelektroden), dass der eingestellte Strom durch die Batterie nicht mehr generiert werden kann. Das Gerät muss eine Fehlermeldung abgeben bzw. den geringeren abgegebenen Strom anzeigen. Bei Eintreten der Kanülenspitze nach intraneural (subperineural) kann der Widerstand schlagartig ansteigen [49], ohne die Gerätefunktion zu beeinflussen. Dieser sogenannte Impedanzsprung kann teilweise ebenfalls mit Alarmen hinterlegt werden.

Es ist darauf zu achten, dass der Strom nicht durch stromempfindliches Material

fließt. Erwähnt werden hier Herzschrittmacher und implantierte Defibrillatoren: Wenngleich die Anwendung der Nervenstimulation durch die Produktvorgaben eigentlich ausgeschlossen ist, wird die periphere Nervenstimulation nach Risiko-Nutzen-Abwägung auch bei Patienten mit derartigen Geräten angewendet. Hierbei ist zu beachten, dass die Stromabgabe des Stimulators als Herzaktion „gesenkt“ werden (▣ **Abb. 4**) und somit zur Asystolie führen kann [8]. Der Stromfluss sollte mit möglichst kurzem Impuls schrittmacherfern sein (<0,5 ms, [24]); eine periphere Pulsüberwachung sollte erfolgen und ein Defibrillator mit einem Magneten deaktiviert werden. Die Funktionsfähigkeit der Geräte sollte nach Möglichkeit im Anschluss überprüft werden [8].

Eine Testinjektion des Lokalanästhetikums kann verschiedene Funktionen erfüllen: Mit einer geringen Menge an Lokalanästhetikum kann zunächst geprüft werden, ob die Injektion im Sinne einer möglichen intraneuralen Injektion schmerzhaft ist. Die Gabe von Lokalanästhetikum führt durch die Blockade des Nerven, durch Veränderung des Ionenmilieus und durch den Volumeneffekt sofort zum Erliegen der Reizantwort. Auch bei Gabe von NaCl wird der Nerv in seiner Stimulationsfähigkeit kompromittiert, was sich ebenfalls durch die Veränderung des perinervalen Ionenmilieus erklären lässt [31]. Ein Persistieren der Reizantwort nach Testinjektion kann somit ein Hinweis auf eine intravasale Kanülenlage sein. Soll nach der Gabe einer Testdosis weiter eine Stimulationsfähigkeit des Nerven vorliegen, ist auf das Appli-

zieren von leitenden Flüssigkeiten zu verzichten und 5%ige Glucoselösung zu verwenden [9, 31, 47, 48].

Die fehlende bzw. reduzierte Stimulierbarkeit nach Applikation von leitenden Flüssigkeiten ist der Grund, warum eine Multiinjektionstechnik mit der peripheren Nervenstimulation nicht optimal und sicher durchführbar ist. Die Region verliert ihr elektrophysiologisches Milieu, und die Nerven werden (an)blockiert; die Nervenstimulation wird unkalkulierbar [31]. Wenngleich die Technik der nervenstimulationsgesteuerten Multiinjektion vermeintlich sicher und erfolgreich war [23], sollte bei Multiinjektionstechniken eine ultraschallgesteuerte Blockade durchgeführt werden.

Praktisches Vorgehen

Die praktische Vorgehensweise bei Blockaden mit der Nervenstimulation setzt die gute Kooperation mit der assistierenden Person voraus. Es ist unbedingt zu vermeiden, dass gleichzeitig der Strom verändert und die Nadel bewegt wird.

Bei schlanken Patienten und bei oberflächlichen Blockaden kann ggf. vor Punktion mithilfe der transkutanen Stimulation der Punktionsort verifiziert werden [50]. Bei tieferen Blockaden und bei adipöseren Patienten gelingt dies häufig nicht.

Folgendes Vorgehen zur eigentlichen Punktion hat sich bewährt:

- ▣ Bei der Lokalanästhesie der Punktionsstelle ist darauf zu achten, dass ein oberflächlicher Nerv nicht bereits (teil-)anästhesiert wird (z. B. axilläre Plexusblockade, Blockade des N. femoralis in der Leiste).
- ▣ Es sollte der aktuelle Strom angezeigt werden. Alternativ müssen die Alarmer, die auf eine Diskrepanz zwischen eingestelltem und aktuellem Strom hinweisen, bekannt und eingestellt sein.
- ▣ Die gewünschte Impulsbreite sollte ausgewählt und eingestellt werden: 0,1 ms beim Nervgesunden und 1 ms beim Patienten mit Nervenaffektion bzw. bei Blockade von rein sensiblen Nerven.
- ▣ Die Taktung der Stromabgabe sollte an die eigenen Punktionsgewohnhei-

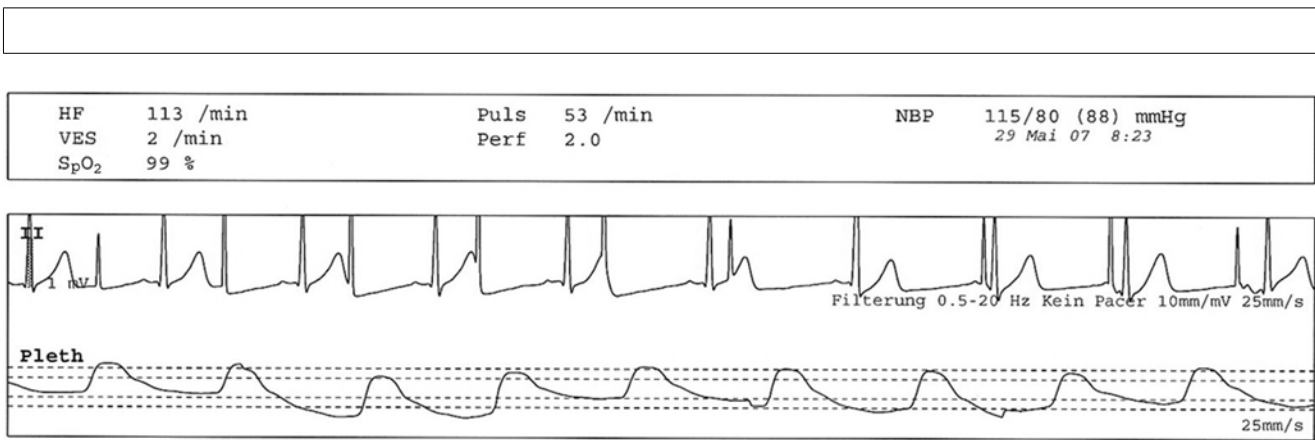


Abb. 4 ▲ Fehlinterpretation der Nervenstimulation am Überwachungsmonitor: Der Stromimpuls des Geräts wird fälschlicherweise als Herzaktion interpretiert und angezeigt. Die Herzfrequenz (EKG: „HF: 113“) ist entsprechend der Taktung des Nervenstimulators (1 Hz) 60 Schläge höher als die Pulsfrequenz (Pulsoxymetrie: „Puls: 53“)

- ten bzw. an die Patientenbedürfnisse angepasst werden (z. B. Stromabgabe mit 1 Hz bei Frakturen, dann jedoch langsame Punktionsgeschwindigkeit erforderlich; Punktion mit 2 Hz bei schneller Punktionsgeschwindigkeit).
- Der initiale Strom sollte deutlich höher gewählt werden als der anzustrebende untere Grenzstrom (z. B. zum Start 2 mA bei Zielstrom 0,5 mA).
 - Man sollte sich der zu erwartenden Reizantwort im Zielgebiet im Klaren sein.

In der weiteren Folge wird die Nadel unter Stimulation und Beachtung der Impedanz langsam in den ausgemachten Zielbereich vorgeschoben. Treten die ersten Muskelreaktionen auf, ist der Nadelvorschub zu stoppen. Die Hilfsperson reduziert bei fixierter Nadel den Strom, bis gerade keine Reizantwort mehr zu sehen ist. Es wird die jetzt anliegende Stromstärke überprüft. Liegt sie über der gewünschten Zielstromstärke, wird der Strom erhöht, bis die Reizantwort gerade wieder auftaucht. Dann wird mit der Nadel ausgetestet, in welcher Richtung die Reizantwort stärker wird und die Nadel in diese Richtung eine kurze Strecke weit vorgeschoben. Anschließend wird erneut die minimale Reizstromstärke wie oben überprüft. Sollte schließlich die Reizantwort bei der gewünschten Zielstromstärke verschwunden sein, kann nach Berücksichtigung der Impedanz und der Aspiration die Testdosis injiziert werden. Dabei wird auf klinische Zeichen einer intraneuralen Injektion geachtet (ausstrahlender Schmerz, schmerzhaftes Parästhesie, hoher Injek-

tionsdruck). Persistiert die Reizantwort unter der Testdosis, ist die intravasale Lage auszuschließen.

Liegt nach dem Nadelvorschub die Stromstärke, bei der die Reizantwort verschwindet, unter der gewünschten Zielstromstärke, sollte – um eine intraneurale Injektion zu vermeiden – die Nadel ein kleines Stück zurückgezogen werden. Der Strom wird wieder langsam erhöht und das Auftreten der Reizantwort überprüft. Dieses wird so lange praktiziert, bis die Zielstromstärke erreicht ist. Keinesfalls sollte bei zu geringen Strömen (<0,5 mA) injiziert werden.

Kommt es während der Punktion oder Injektion zu ausstrahlenden Schmerzen oder schmerzhaften Parästhesien, ist der Vorgang unabhängig vom oben Genannten zu unterbrechen und zu modifizieren. Es ist weiterhin zu beachten, dass ein gemischter Nerv immer auch in allen Anteilen gereizt werden kann. Gibt ein Patient nur elektrische, impulssynchrone Parästhesien im Zielgebiet an, ohne dass es zu Muskelreaktionen kommt, ist dies regelhaft als erfolgreiche Antwort auf die Nervenstimulation zu werten.

Prinzipiell kann eine Nervblockade mit der peripheren Nervenstimulation auch ohne Assistenz durchgeführt werden. Es sind die allgemeinen Regeln zur Gewährleistung der Patientensicherheit und der Hygiene zu beachten.

Fazit für die Praxis

Die periphere elektrische Nervenstimulation ist ein sicheres und zuverlässiges Standardverfahren in der peripheren Re-

gionalanästhesie. Beachtet man die beschriebenen physikalischen Voraussetzungen und Besonderheiten, kann die elektrische Nervenstimulation nach heutigen Gesichtspunkten als alleiniges Verfahren zur Durchführung peripherer Nervenblockaden eingesetzt werden. Hierbei sollten die oben genannten Vorgehensweisen und Grenzwerte eingehalten sowie dokumentiert werden. Nach Möglichkeit sollten bei der Durchführung peripherer Nervenblockaden generell alle zur Verfügung stehenden klinischen und technischen Hilfsmittel genutzt werden, um die Blockade sicher und erfolgreich durchzuführen.

Korrespondenzadresse

Dr. M. Neuburger
Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin,
Ortenau Klinikum Achern
Josef-Wurzler-Str. 7, 77855 Achern
michaelneuburger@aol.com

Einhaltung der ethischen Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Neuburger: kein Konflikt; T. Steinfeldt: Vortragshonorar von B.Braun, Teleflex, Vygon; U. Schwemmer: kein Konflikt; T. Volk: Vortragshonorare, Forschungsprojekte, Unterstützung zu Fortbildungsveranstaltungen von Abbott, Abbvie, Agesa, Archimedes Pharma, Arrow, Astra Zeneca, Baxter, Bayer, B.Braun, Biotest, CareFusion, CSL Behring, Dr. Köhler Chemie, ewimed, FreseniusKabi, GE, Grünenthal, GSK, Mitsubishi, MLP, MSD, MundiPharma, Novartis, Novo Nordisk, Orion Pharrna, Pfizer, Pall Medical, Pulsion, Sanofi, THCPHarm, Thermo Scientific, Vifor Pharma; W. Gogarten: kein Konflikt; P. Kessler: Vortragshonorar von B.Braun, CSL-Behring.

Der Beitrag enthält keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Auroy Y, Benhamou D, Bargues L et al (2002) Major complications of regional anesthesia in France: the SOS regional anesthesia hotline service. *Anesthesiology* 97:1274–1280
2. Bigeleisen P, Moayeri N, Groen G (2009) Extraneural versus intraneural stimulation thresholds during ultrasound-guided supraclavicular block. *Anesthesiology* 110:1235–1243
3. Birnbaum J, Klotz E, Bogusch G et al (2007) Elektrische Nervenstimulation für Plexus- und Nervblockaden. *Anaesthesist* 56:1155–1162
4. Brull R, McCartney CJ, Chan VW, El-Beheiry H (2007) Neurological complications after regional anesthesia: contemporary estimates of risk. *Anesth Analg* 104:965–974
5. Chan V, Brull R, McCartney C et al (2007) An ultrasonographic and histologic study of intraneural injection and electrical stimulation in pigs. *Anesth Analg* 104:1281–1284
6. Chin J, Tsui BC (2010) No change in impedance upon intravascular injection of D5W. *Can J Anaesth* 57:559–564
7. Choyce A, Chan VW, Middleton WJ et al (2001) What is the relationship between paresthesia and nerve stimulation for axillary brachial plexus block? *Reg Anesth Pain Med* 26:100–104
8. Engelhardt L, Grosse J, Birnbaum J et al (2007) Inhibition of a pacemaker during nerve stimulation for regional anaesthesia. *Anaesthesia* 62:1071–1074
9. Ercole A (2008) The effect of injectate conductivity on the electric field with the nerve stimulator needle: a computer simulation. *Anesth Analg* 107:1427–1432
10. Ford DJ, Pither CE, Raj PP (1984) Comparison of insulated and uninsulated needles for locating peripheral nerves with a peripheral nerve stimulator. *Anesth Analg* 63:925–928
11. Franco CD, Vieira ZE (2000) 1001 subclavian perivascular brachial plexus blocks: success with a nerve stimulator. *Reg Anesth Pain Med* 25:41–46
12. Franco CD, Domashevich V, Voronov G et al (2004) The supraclavicular block with a nerve stimulator: to decrease or not to decrease, that is the question. *Anesth Analg* 98:1167–1171
13. Hadzic A, Vluka J, Hadzic N et al (2003) Nerve stimulators used for peripheral nerve blocks vary in their electrical characteristics. *Anesthesiology* 98:969–974
14. Hadzic A, Vluka JD, Claudio R et al (2004) Electrical nerve localization: effects of cutaneous electrode placement and duration of the stimulus on motor response. *Anesthesiology* 100:1526–1530
15. Jochum D, Iohom G, Diarra DP et al (2006) An objective assessment of nerve stimulators used for peripheral nerve blockade. *Anaesthesia* 61:557–564
16. Johnson CR, Barr RC, Klein SM (2007) A computer model of electrical stimulation of peripheral nerves in regional anesthesia. *Anesthesiology* 106:323–330
17. Kaiser H, Niesel HC, Hans V (1990) Grundlagen und Anforderungen der peripheren elektrischen Nervenstimulation. Ein Beitrag zur Erhöhung des Sicherheitsstandards in der Regionalanästhesie. *Reg Anaesth* 13:143–147
18. Kaiser H, Niesel HC, Hans V et al (1990) Untersuchungen zur Funktion peripherer Nervenstimulatoren für die Durchführung von Nerv- und Plexusblockaden. *Reg Anaesth* 13:172–178
19. Kaiser H, Niesel HC, Klimpel L et al (1992) Prilocaine in lumbosacral plexus block: general efficacy and comparison of nerve stimulation amplitude. *Acta Anaesthesiol Scand* 36:692–697
20. Kaiser H, Neuburger M (2002) How close is close enough – how close is safe enough. *Reg Anesth Pain Med* 27:227–278
21. Klein SM, Melton MS, Grill WM et al (2012) Peripheral nerve stimulation in regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med* 37:383–392
22. Koscielniak-Nielsen ZJ, Rassmussen H, Jepsen K (2001) Effect of impulse duration on patients' perception of electrical stimulation and block effectiveness during axillary block in unседated ambulatory patients. *Reg Anesth Pain Med* 26:428–433
23. Koscielniak-Nielsen ZJ (2006) Multiple injections in axillary block: where and how many? *Reg Anesth Pain Med* 31:192–195
24. LaBan MM, Petty D, Hauser AM et al (1988) Peripheral nerve conduction stimulation: its effect on cardiac pacemakers. *Arch Phys Med Rehabil* 69:358–362
25. Li J, Kong X, Gozani SN et al (2011) Current-distance relationships for peripheral nerve stimulation on localization. *Anesth Analg* 112:236–241
26. Lullies H, Trincker D (1973) Taschenbuch der Physiologie II, 2. Aufl. Gustav Fischer, Stuttgart
27. MacFarlane AJ, Bhatia A, Brull R (2011) Needle to nerve proximity: what do the animal studies tell us? *Reg Anesth Pain Med* 36:290–302
28. Mulroy MF, Mitchell B (2002) Unsolicited paresthesias with nerve stimulator: case reports of four patients. *Anesth Analg* 95:762–763
29. Neal JM, Bernards CM, Hadzic A et al (2008) ASRA practice advisory on neurologic complications in regional anesthesia and pain medicine. *Reg Anesth Pain Med* 33:404–415
30. Neuburger M, Rotzinger M, Kaiser H (2001) Elektrische Nervenstimulation in Abhängigkeit von der benutzten Impulsbreite. Eine quantitative Untersuchung zur Annäherung der Nadelspitze an den Nerv. *Anaesthesist* 50:181–186
31. Neuburger M, Gültlinger O, Ass B et al (2005) Influence of blockades with local anesthetics on the stimulation ability of a nerve by peripheral nerve stimulation. Results of a randomized study. *Anaesthesist* 54:575–577
32. Neuburger M, Kaiser H (2009) Nicht ohne meinen Nervenstimulator. In: Eckart, Jäger, Möllhoff: Anästhesiologie EcoMed (Kapitel 6.2.9), 15. Ergänzungslieferung, S 1–22
33. Perlas A, Niazi A, McCartney C et al (2006) The sensitivity of motor response to nerve stimulation and paresthesia for nerve localization as evaluated by ultrasound. *Reg Anesth Pain Med* 31:445–450
34. Perthes G (1912) Über Leitungsanästhesie unter Zuhilfenahme elektrischer Reizung. *Münch Med Wochenschr* 47:2545–2551
35. Rigaud M, Filip P, Lirk P et al (2008) Guidance of block needle insertion by electrical nerve stimulation. *Anesthesiology* 109:473–478
36. Robards C, Hadzic A, Somasundaram L et al (2009) Intraneural injection with low-current stimulation during popliteal sciatic nerve block. *Anesth Analg* 109:673–677
37. Sala Blanch X, López AM, Carazo J et al (2009) Intraneural injection during nerve stimulator-guided sciatic nerve block at the popliteal fossa. *Br J Anaesth* 102:855–861
38. Sauter AR, Dodgson MS, Kalvoy H et al (2009) Current threshold for nerve stimulation depends on electrical impedance of the tissue. *Anesth Analg* 108:1338–1343
39. Sharma AK, Thomas PK (1974) Peripheral nerve structure and function in experimental diabetes. *J Neurol Sci* 23:1–15
40. Silverstein WB, Saiyed MU, Brown AR (2000) Interscalene block with a nerve stimulator: a deltoid motor response is a satisfactory endpoint for successful block. *Reg Anesth Pain Med* 25:356–359
41. Sites BD, Gallagher J, Sparks M (2003) Ultrasound-guided popliteal block demonstrates an atypical motor response to nerve stimulation in 2 patients with diabetes mellitus. *Reg Anesth Pain Med* 28:479–482
42. Steinfeldt T, Graf J, Schneider J et al (2011) Histological consequences of needle-nerve contact following nerve stimulation in a pig model. *Anesthesiol Res Pract*. 2011:591851. DOI 10.1155/2011/591851
43. Steinfeldt T, Graf J, Vassiliou T et al (2009) High or low current threshold for nerve stimulation for regional anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 53:1275–1281
44. Sung DH (2004) Locating the target nerve and injectate spread in rabbit sciatic nerve block. *Reg Anesth Pain Med* 29:194–200
45. Szerb J, Persaud D (2005) Long current impulses may be required for nerve stimulation in patients with ischemic pain. *Can J Anaesth* 52:963–966
46. Tsai TP, Vuckovic I, Dilberovic F et al (2008) Intensity of the stimulating current may not be a reliable indicator of intraneural needle placement. *Reg Anesth Pain Med* 33:207–210
47. Tsui BC, Wagner A, Finucane B (2004) Electrophysiologic effect of injectates on peripheral nerve stimulation. *Reg Anesth Pain Med* 29:189–193
48. Tsui BC, Kropelin B (2005) The electrophysiological effect of dextrose 5% in water on single-shot peripheral nerve stimulation. *Anesth Analg* 100:1837–1839
49. Tsui BC, Pillay JJ, Chu KT et al (2008) Electrical impedance to distinguish intraneural from extraneural needle placement in porcine nerves during direct exposure and ultrasound guidance. *Anesthesiology* 109:479–483
50. Urmey WF, Grossi P (2002) Percutaneous electrode guidance: a noninvasive technique for prelocation of peripheral nerves to facilitate peripheral plexus or nerve block. *Reg Anesth Pain Med* 27:261–267
51. Urmey WF, Stanton J (2002) Inability to consistently elicit a motor response following sensory paresthesia during interscalene block administration. *Anesthesiology* 96:552–554
52. Urmey WF, Grossi P (2006) Use of sequential electrical nerve stimuli (SENS) for location of the sciatic nerve and lumbar plexus. *Reg Anesth Pain Med* 31:463–469
53. Vassiliou T, Müller HH, Ellert A et al (2013) High-versus low-stimulation current threshold for axillary plexus blocks: a prospective randomized triple-blinded noninferiority trial in 205 patients. *Anesth Analg* 116:247–254